

О.С. Тараєвський

Івано – Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДНИХ ГІРНИЧО – ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЮ ТРАНЗИТНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

*Розроблено методику для визначення допустимого рівня довільно орієнтованих напружень, що діють на досліджувану ділянку газопроводу з складною технологічною структурою та прокладеною на ділянці з порушеною рівновагою Землі. Для проектування нових газопроводів забезпечить відсутність ділянок трубопроводів в одному технологічному коридорі, а для існуючих трубопроводів, що експлуатуються в одному технологічному коридорі дасть можливість зменшити вплив аварійної ситуації або навіть унеможливити наявність такої внаслідок оптимального завантаження ниток газопроводів. Доцільність проведення таких експериментів та отримані результати дозволять попереджувати аварії та відмови газопроводів, що проходять в складних гірничо – геологічних умовах, забезпечити їх безвідмовність протягом тривалого терміну експлуатації.*

**Ключові слова:** газопровід, недовантаження, напружений стан, густина, математична модель.

### Постановка проблеми

Газотранспортна система (ГТС) України є важливим фактором енергетичної безпеки держави як в економічній, так і в політичній площинах. Територією України проходить найбільший у світі транзитний газовий потік з Росії до країн Європи, тому в роботі особлива увага приділялась науковим дослідженням для забезпечення надійності та довговічності ГТС, як важливого компоненту енергетичної безпеки держави.

Велика протяжність газотранспортної системи і складність технологічної схеми трубопроводів зумовлюють значні втрати газу під час транспортування і споживання. Тому важливою експлуатаційною проблемою є облік газу і скорочення його втрат при транспортуванні і споживанні.

Об'єкти газотранспортної системи часто розміщуються в геодинамічних активних зонах складних рельєфів і за відповідних кліматичних умов піддаються діям механічних навантажень від гірських порід. У кінцевому результаті це може призвести до деформації і руйнувань труб та інших технологічних конструкцій. Особливо небезпечними є зсуви в гірській місцевості. Отже, важливо вміти прогнозувати процеси геодинамічної активності гірських порід з метою попередження аварійних ситуацій.

Для виявлення напруженого стану гірських порід використовують різні методи фізичних досліджень, серед яких в останній час чільне місце

займає метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ).

На зсувних схилах завжди присутні умови, сприятливі для виникнення електромагнітних імпульсних емісійних процесів [1-5]. Накопичення напружень у породах до критичних значень і релаксація їх, розвиток мікро- і макротріщин, явище електроадгезії, трибополяризації, дегідратації, руйнування подвійних електричних шарів, фазові переходи, тертя призводять у результаті до утворення різних за інтенсивністю імпульсних електромагнітних полів. Залежно від масштабів зсуву і геологічних умов його розвитку частотний діапазон електромагнітних імпульсів може бути широким.

### Матеріали та методика дослідження

Дослідження і спостереження за зсувами однозначно вказують, що метод ПІЕМПЗ може бути ефективним для прогнозування зсувів. Адже він вказує на локальне підвищення напружень та деформацій, що є важливою передумовою формування зсуву. Ці процеси не є швидкоплинними на початкових етапах формування умов утворення зсуву, що дає можливість виконати відповідні інженерні роботи і зменшити важкі негативні наслідки зсуву. Особливо це важливо для таких небезпечних об'єктів, як магістральні газопроводи (рис.1) та газопроводи розподільних мереж різних тисків.

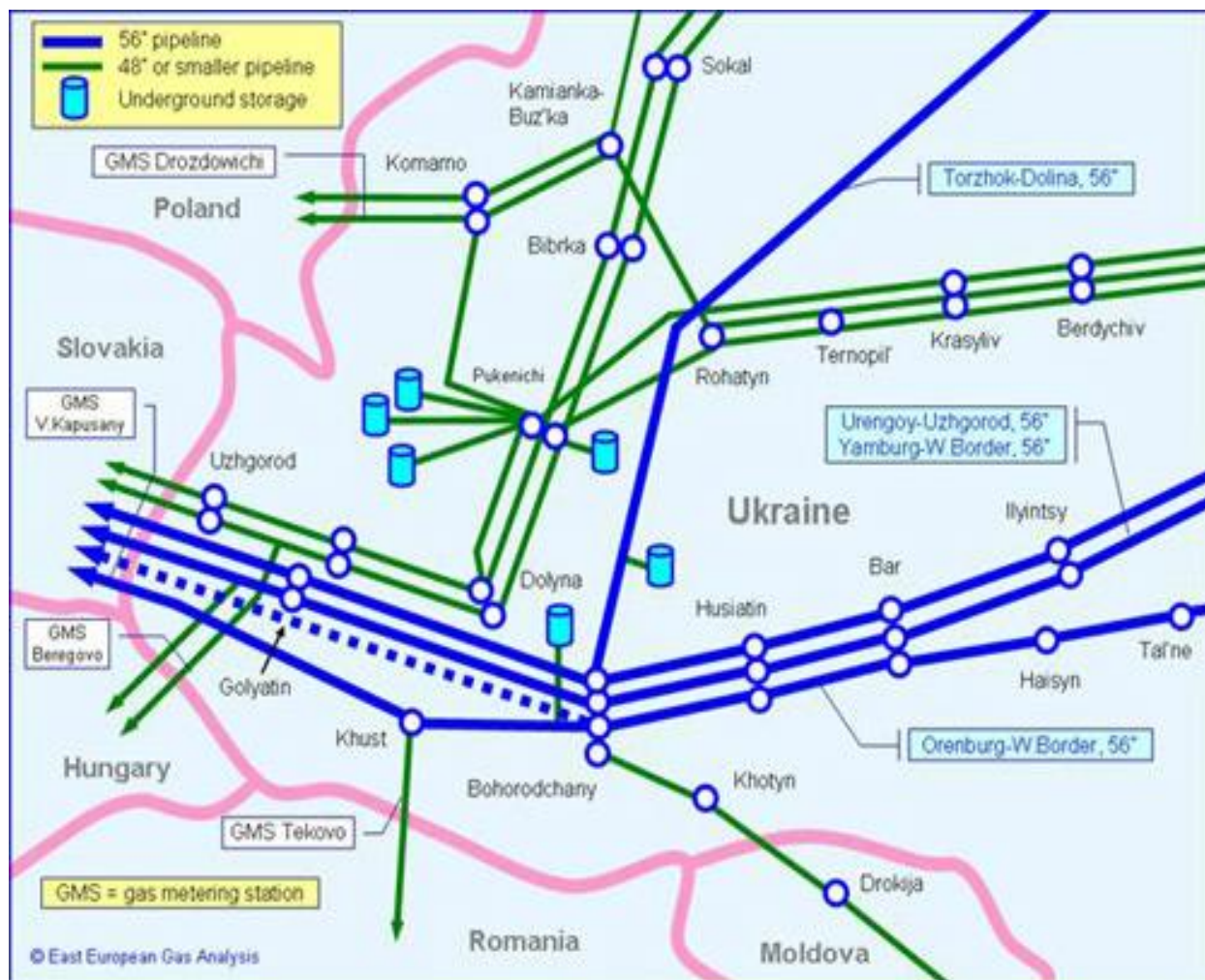


Рис. 1 Схема газопроводів Західної України

Для вивчення впливу локальних глибинних напружень на зміну інтенсивності ПІЕМПЗ на різних глибинах гірської породи проводили дослідження на Богородчанському підземному сховищі газу (ПСГ). Глибина газосховища 1150 на 1250 м. На всій глибині сховища гірська порода — це глини з пропластками пісковиків. Вивчення ПСГ даним геофізичним методом дало можливість отримати уточнену інформацію щодо розподілу зон підвищеного напружено-деформованого стану (НДС) гірських порід і зон релаксації напружень для визначення меж території з можливим розвитком деформаційних процесів, а також визначити просторову неоднорідність у загальному полі механічних напружень.

Польові роботи виконувались у модифікації картування. Загалом виконано 512 спостережень за розподілом характеристик ПІЕМПЗ на різних напрямках вимірювального елемента — вертикального (Hz) і набору горизонтальних через 45° (Ex, Ey). У тому числі проводились повторні вимірювання для контролю за варіаціями електромагнітного фону. Повторні контрольні спостереження проводились періодично протягом

зйомки обсягом 25% від загальної кількості пікетів. При цьому похибка вимірювань не перевищувала 10%. Для більш точного встановлення ймовірного розміщення аномальних явищ у ґрунтовому масиві крок між вимірюваннями становив 25 м. Кожна точка спостережень фіксувалась на місцевості пікетом з його прив'язкою на топографічній основі з масштабом 1:5000.

Спостереження за розподілом поля напружень проводилось двома приладами типу “АДОНІС–32М”, виготовленими спеціально для вимірювання кількості електромагнітних імпульсів за одиницю часу в компактному переносному варіанті з малим енергоспоживанням.

Обробка польових даних полягала в усередненні отриманих замірів на точці з відніманням регіональних варіацій електромагнітного фону. У ході обробки використовувався комплекс статистичних методів аналізу спостережень для визначення їх достовірності при оцінці виявлених аномалій. Як фізико-геологічну модель у процесі інтерпретації польових спостережень приймаємо, що спостережувані значення величини ПІЕМПЗ в



кожній досліджуваній області мають випадковий характер. Якщо область однорідна за своєю геологічною будовою, геофізичними властивостями, то випадкові значення ШЕМПЗ повинні належати до однієї генеральної сукупності, а їх відхилення мають випадковий характер.

Для характеристики однорідності серії замірів в одній точці і відсіву випадкових відхилень використовувалась з використанням параметричних критеріїв і перевіркою вибірок на належність їх до нормального закону розподілу.

Експеримент проводили за різних заповнень газосховища, тобто за різних внутрішніх тисків. Перші заміри проводились у червні місяці за

мінімально заповненого сховища з внутрішнім тиском газу 58 атмосфер. Другі заміри виконували в тих самих пікетах у грудні місяці за заповненого сховища з внутрішнім тиском газу 93 атмосфер.

## Результати досліджень та їх обговорення

Із викладеного вище випливає, що будь-яке втручання в рівновагу гірського масиву провокує утворення вогнищ механічних напружень, тобто є концентратором напружень і джерелом зародження майбутніх зсувів за відповідних умов (рис. 2). Такими концентраторами напружень є прокладені в горах траси магістральних газопроводів.

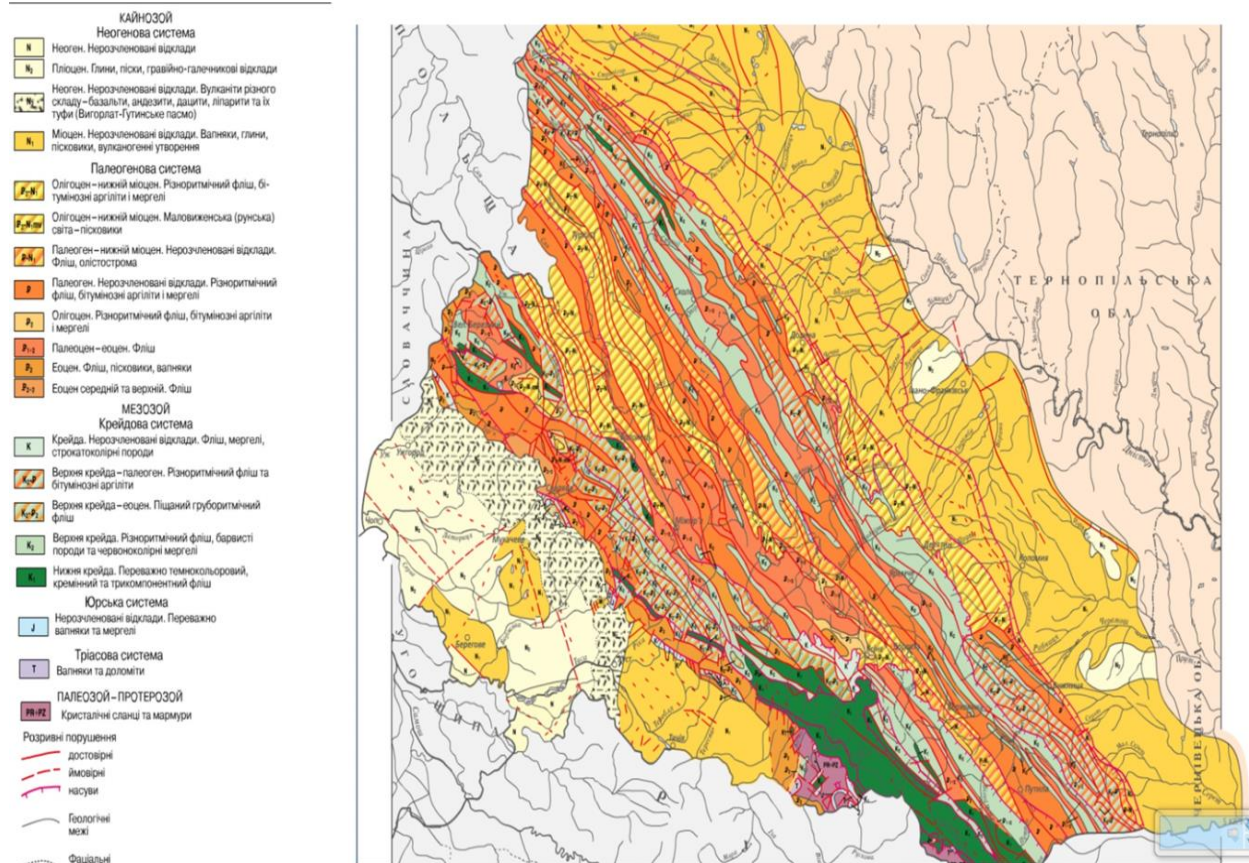


Рис. 2 Зсувонебезпечні ділянки Західної України.

Аварії на газопроводах характеризуються наявністю суттєвих розходжень у значеннях питомої частоти аварій  $\lambda_{сер}$  у середньому по галузі й значеннях питомої частоти аварій  $\lambda_{МГ}$  у цілому по конкретному газопроводу й локальної частоти  $\lambda_n$  по його окремих ділянках, що розрізняються своїми конструктивно-технологічними характеристиками, особливостями проектування, будівництва й експлуатації за різних зовнішніх умов. Тому при дослідженні аварійного ризику експлуатації МГ неминуче постає питання ранжування його окремих ділянок таким чином, щоб найнебезпечнішим з огляду технічного стану ділянкам приділялася

найбільша увага - і при з'ясуванні прийнятності аварійного ризику, і при плануванні ремонтних робіт та інших превентивних заходах.

Розбивка траси аналізованого трубопроводу на ділянки, що характеризуються приблизно постійним значенням локальної частоти (питомої інтенсивності) аварії усередині кожної ділянки, зазвичай здійснюється з використанням ознаки найбільш суттєвої зміни значення того або іншого фактора впливу.

Залежно від цілей досліджень, оцінка ризику (і, відповідно, оцінка локальної інтенсивності аварій) може проводитися не на всіх підряд ділянках траси, а тільки на окремих її відрізках, наприклад, тих що

примикають до населених пунктів. Тут при необхідності ступінь деталізації може бути збільшений, а на незаселених територіях зменшений.

Залежно від сукупності конкретних значень різних факторів впливу (ФВ) на аварійність, що мають місце на розглянутій ділянці траси, інтенсивність аварій на ній буде в тому або іншому ступені відрізнятися від середньої по галузі  $\lambda_{сер}$ . В роботах [1, 3] ці розходження пропонується враховувати за допомогою інтегрального коефіцієнта впливу ( $k_{вл}$ ), що показує, у скільки разів локальна інтенсивність аварій відрізняється від  $\lambda_{сер}$  і розраховується як добуток трьох коефіцієнтів впливу: регіонального ( $k_{рег}$ ), «діаметрального» ( $k_D$ ) і локального ( $k_{лок}$ ), тобто локальна інтенсивність аварій на  $n$ -ій ділянці траси може бути виражена як:

$$(k_{рег} \cdot k_D \cdot k_{лок}) = I \quad (1)$$

При розгляді конкретної ділянки газопроводу визначається значення кожного ФВ і відповідне йому число балів, що зважується потім за допомогою коефіцієнтів  $p_i$  і  $q_{ij}$ . Сума всіх зважених балів оцінок ФВ дає сумарну фактичну балну оцінку (БО) ділянки, а її відношення до БО  $B_{сер}$  середньостатистичної ділянки дає значення локального КВ:

$$k_{лок} = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}}{B_{сер}} \quad (2)$$

де  $B_{ij}$  - БО фактора  $F_{ij}$ ,

$p_i$  - частка  $i$ -ої групи ФВ;

$q_{ij}$  - частка  $j$ -ро ФВ в  $i$ -ій групі;

$B_{сер}$  - БО середньостатистичної ділянки МГ.  $B_{сер}$  виходить на основі визначення середніх по Україні значень  $f_{ijсер}$  кожного ФВ і відповідних їм БО  $B_{ijсер}$

Остаточна формула для розрахунку локального значення інтенсивності аварій на  $n$ -ій ділянці траси має вигляд:

$$\lambda_n = \lambda_{сер} \cdot k_{рег} \cdot k_D = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}^{сер}} \quad (3)$$

Розрахунок по ній локальних значень інтенсивності аварій для кожної ділянки траси дає можливість одержати розподіл питомої частоти аварій по довжині траси  $\lambda_n(x)$ .

На практиці, при аналізі аварійного ризику на діючих МГ, визначення  $\lambda_n$  зустрічає значні труднощі через нестачу коректних статистичних даних з аварійності ГТС. Якщо ця обставина має місце в конкретній роботі, допускається використати аналогічні статистичні дані по ГТС, експлуатованих у подібних умовах і з подібними технічними характеристиками. При відсутності й таких даних, рекомендується дотримуватись логіки максимально консервативного підходу, приймаючи  $\lambda_{сер} = 3 \cdot 10^{-4}$  1/км · рік, а  $k_{рег}$  взагалі не розраховувати.

Кількість груп, що об'єднуються ФВ, може бути різною. Наприклад, у методичних рекомендаціях [3], що з деякими корегуваннями можуть використовуватися і стосовно догазотранспортних ОПН.

У межах кожної групи  $Gr_i$  є різна кількість  $J_i$  факторів впливу. Кожний фактор позначається як  $F_{ij}$ , де  $i$  - номер групи,  $j$  - номер фактора в групі.

Відносний вплив фактора  $F_{ij}$  у середині своєї групи на зміну інтенсивності аварійних відмов на розглянутій ділянці трубопроводу враховується, як вже зазначалось, за допомогою зваженого коефіцієнта  $q_{ij}$ .

Властиво аналіз аварійного ризику починається з експертної оцінки умов і механізмів виникнення аварій на конкретних складових газотранспортного ОПН, а також формування загальної уяви про пріоритетність тих або інших заходів щодо підвищення надійності ГТС. При цьому в розпорядженні експерта повинні перебувати, щонайменше, інформаційні матеріали про аварії, що мали місце як на самому ГТС, так і на аналогічних об'єктах, експлуатованих у подібних умовах. Важливою також є інформація про всі умови експлуатації аналізованого об'єкта.

У даний час найчастіше вживаним інструментом досягнення зазначених цілей є метод дерева відмов, досить докладно описаний в [4].

У результаті геотехногенних системах активізуються взаємно руйнуючі процеси, що мають безпосередню дію на конструктивну надійність їхньої антропогенної складової. Положення усугубляється тим, що в останні роки на Україні спостерігається активізація небезпечних природних явищ і процесів (зсуви, зрушення, осідання ґрунтів, повені й т.п.), багато з яких зумовлені непродуманим характером природокористування (наприклад, неконтрольовані вирубки охоронних лісів у Карпатах). Ці явища й процеси прямо або побічно пов'язані з порушенням проектного положення трубопроводів і появою в тілі труби напружень, викликаних різними деформаціями, які приводять до порушення герметичності даних інженерних систем (рис. 3).



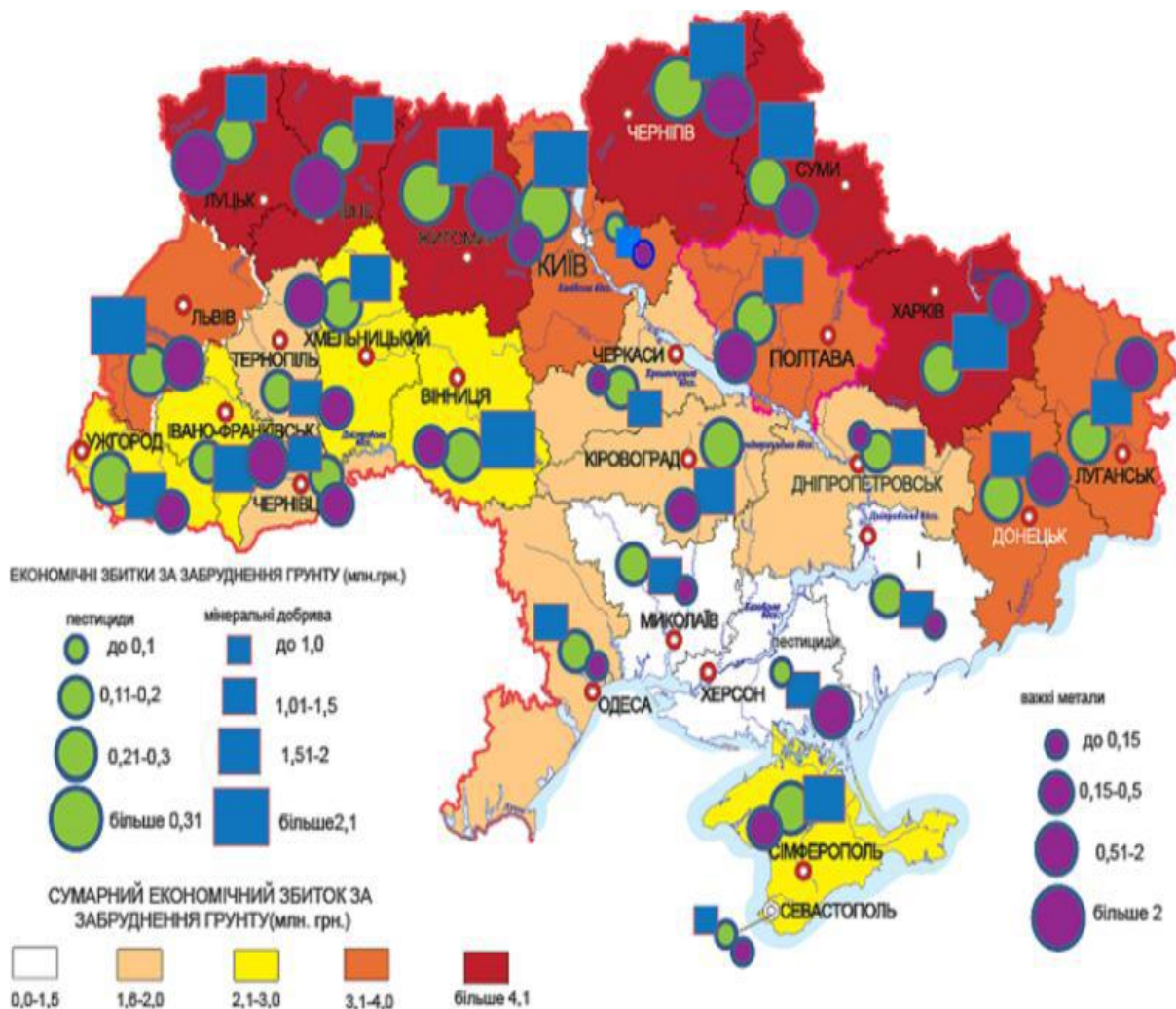


Рис. 3 Забруднення ґрунтів внаслідок експлуатації обертів підвищеної небезпеки

Таким чином, МГ характеризуються вищою уразливістю від агресивних впливів природного середовища в порівнянні з іншими технологічними об'єктами.

### Висновок

Розроблені методи і засоби оперативного контролю за напружено-деформованим станом масивів гірських порід по трасах газопроводів, запропонована методика визначення допустимого рівня довільно орієнтованого навантаження на трубопровід в області сповзання ґрунту.

Науково обґрунтовані, методики параметричного діагностування стану газопроводів та обладнання компресорних станцій на нестационарних неізотермічних режимах, які дозволяють побудувати реальні характеристики об'єктів складних газотранспортних систем. На цій основі побудована методика вибору режимів експлуатації з урахуванням багатокритеріальної оптимізації. За результатами параметричного діагностування стану розроблена стратегія

оптимального обслуговування об'єктів газотранспортної системи.

Вивчені і систематизовані причини втрат газу в магістральних трубопроводах та розподільних мережах. Розроблені рекомендації і нормативні документи для зменшення втрат газу при транспортуванні і розподіленні, які впроваджені у газорозподільних підприємствах України.

### References

1. Mikhalkiv, V., Tarayevs'kyi, O. (2016) Influence of gas transport volumes reduction on gas pipeline stress state. *Metallurgical and mining industry*, 1, 49-52.
2. Krizhanivskiy, Ye. I., Tarayevs'kyi, O.S., Makovkin, O.M. (2015) Research on pipelines elements strength with stress raisers in the area of slide. *Metallurgical and mining industry*, 10, 202-204.
3. Krizhanivskiy, Ye. I., Tarayevs'kyi, O.S. (2015) Factors determining the intensity of loading of long operated gas pipelines under complex mining and geological conditions. *Metallurgical and mining industry*, 8, 516-520.

4. Tarayevs'kyi, O. (2015) Calculation models aspect for pipelines joint welds evaluation for the purpose of their endurance life increasing. *Metallurgical and mining industry*, 4, 91-93.
5. Tarayevs'kyi, O. (2015) Key factors determining state of metal pipe during operation of main oil and gas pipeline. *Metallurgical and mining industry*, 2, 62-66.

**Автор:** ТАРАЄВСЬКИЙ Олег Степанович  
професор кафедри газонафтопроводів та  
газонафтоховищ  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу  
E-mail – tzng@ukr.net

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри нафтогазової інженерії і технологій  
Б.С. Ільченко, Харківський національний університет  
міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків,  
Україна

## STUDY OF THE INFLUENCE OF COMPLEX MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS ON OPERATION TRANSIT PIPELINES

O. Tarayevskiy

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

*On the basis of the system approach and analysis of the conditions of operation of transit main gas pipelines, analytical studies of the stresses occurring on the internal surface of the gas pipeline under the conditions of the obverse and reverse operation modes have been carried out. The method of determination (prognostication) of durability of long exploited pipelines, operated in complex mining and geological conditions was proposed. It was shown that during such exploitation of gas pipelines non-project modes are being found that require a detailed analysis of the use of their production capacities, and as a result it has been established that the study section in such conditions. The technique for determining the permissible level of arbitrarily oriented stresses acting on the investigated section of a gas pipeline with a complex technological structure and laid on a section with a disturbed equilibrium of the Earth is developed. It has been proved that the cyclic operation of pipelines and their structural elements in difficult geological conditions leads to an abnormally high background tension, which leads to a decrease in their predicted lifetime. It is proposed to carry out operational control of the stressed-deformed state of pipeline sections laid in complex mining and geological conditions and which have complex technological features. The principle of optimization of gas transportation by pipelines, passing in one technological corridor on the criterion of minimum negative impact on the environment was improved. The technique of determining the potential impact radius, which simultaneously takes into account the mode of operation of the gas pipeline, its actual technical condition, as well as the parameters of abnormal areas with disturbed equilibrium of the earth, was proposed. The developed method allows determining the necessary security zone on each individual site, in particular, to substantially reduce or increase it in relation to existing real conditions. In order to design new gas pipelines, there will be no pipelines in the same technological corridor, and for existing pipelines operated in the same technological corridor, it will be possible to reduce the impact of the emergency situation or even make it impossible because of optimal loading of the gas pipelines. The expediency of carrying out such experiments and the results obtained will allow to prevent accidents and failures of gas pipelines that lies in complex mining and geological conditions, to ensure their reliability during long service life as well.*

**Keywords:** gas, underemployment, stressful situation, density, mathematical model.